

نمونه برداری

گرادیان کدگذاری فرکانس در حین آنکه سیستم فرکانس های موجود در سیگنال را می خواند و آن ها را نمونه برداری یا دیجیتالی میکند، روشن است. در نتیجه، گاهی به این گرادیان، گرادیان خوانش (readout) اطلاق می شود. مدت زمان گرادیان خوانش به عنوان "زمان نمونه برداری" یا "پنجره تصویربرداری" اطلاق می شود. در حین زمان نمونه برداری، سیستم، فرکانس های تا ۱۰۲۴ زمان مختلف (با استفاده از تکنولوژی کنونی) را نمونه برداری یا دیجیتالی می کند. **نرخ نمونه برداری یا فرکانس نمونه برداری**، نرخ است که در آن، فرکانس ها در حین خوانش نمونه برداری یا دیجیتالی می شوند و تعیین می کند که چند نمونه در حین خوانش برداشته می شوند.

هر نمونه به عنوان **نقطه داده** ذخیره می شود. هر نقطه داده حاوی اطلاعاتی درباره فاز و فرکانس سیگنال در یک نقطه مشخص زمانی در طول خوانش است. در ام.آر.آی، نقاط داده متعددی در حین فرایند خوانش جمع آوری می شوند. تعداد این نقاط داده مربوط به ماتریس فرکانسی می شود؛ یعنی، اگر ماتریس فرکانسی با اندازه ۲۵۶ لازم باشد، ۲۵۶ نقطه زمانی می بایست برای هر اسلایس در هر TR در حین خوانش، جمع آوری شود. اگر زمان نمونه برداری ۸ میلی ثانیه باشد و ۲۵۶ نقطه

داده در این مدت زمان جمع آوری شود، در نتیجه، فرکانس های سیگنال در هر 0.00003125 ثانیه

یا فرکانس نمونه برداری 32000 Hz نمونه برداری می شوند.

نکته آموزشی: نمونه برداری با استفاده از تمثیل تصویر

این مفهوم سخت احتمالاً با استفاده از تمثیل عکس برداری بهتر قابل فهم می شود. تصور کنید که

از شما خواسته شده است تا چند تصویر از یک دونه که دوی ۱۰۰ متر را طی می کند، بگیرید. هر

تصویر یک نقطه داده است که موقعیت بازوها و پاهای دونه را در نقاط خاص زمانی نشان می

دهد. زمانی که شما برای گرفتن عکس آماده هستید، طول مدت مسابقه یعنی ۱۰ ثانیه است. این

معادل با زمان نمونه برداری ۱۰ ثانیه است. تعداد تصاویر گرفته شده در حین مسابقه برابر با تعداد

نقاط زمانی است. اینکه با چه سرعتی تصاویر گرفته شوند معادل نرخ نمونه برداری است و تعیین

کننده این است که چند تصویر در حین مسابقه گرفته می شود. برای مثال، اگر نیاز به گرفتن ۱۰

تصویر در حین مسابقه باشید، باید یک تصویر در هر ثانیه برای کل زمان ۱۰ ثانیه مسابقه بگیرید.

نرخ نمونه برداری توسط **تئوری نایکوئیست (Nyquist Theorem)** بیان می شود، که نشان می دهد که برای دیجیتایز کردن فرکانس های متعدد، با چه سرعتی نمونه برداری کنیم. در MRI هر اکو دارای تعداد زیادی فرکانس است که برخی از آن ها فرکانس های سیگنال را بیان می کنند و برخی دیگر بیانگر نویز هستند. تئوری نایکوئیست می گوید که وقتی یک سیگنال با محدوده ای از فرکانس های آنالوگ یا پهنای باند را دیجیتایز میکنیم، بیشترین فرکانس می بایست حداقل دو برابر هر سیکل باشد تا بتوان با دقت آن سیگنال را دیجیتایز کرد یا نمایش داد. به عبارت دیگر، فرکانس نمونه برداری بایستی حداقل دو برابر بیشترین فرکانس موجود در سیگنال باشد.

به شکل ۳-۱۴ توجه فرمایید. با یک نمونه برداری در هر سیکل یا در فرکانس مشابه با فرکانسی که میخواهیم دیجیتایز کنیم، میتواند منجر به نمایش یک خط راست یا عدم وجود یک فرکانس در داده شود (دیاگرام میانی). نمونه برداری کمتر از یک بار در سیکل می تواند کلا منجر به فرکانس نادرستی شود که منجر به ایجاد آرتیفکت "الیاسینگ Aliasing" می شود. نمونه برداری دو بار در سیکل یا با دو برابر فرکانسی که سعی میکنیم دیجیتایز کنیم، منجر به نمایش درست آن فرکانس در داده می شود (دیاگرام بالایی). تا وقتی که بیشترین فرکانس در پهنای باند با نرخ دو برابر نمونه

برداری شود، در داده به درستی نمایش داده می شود. فرکانس های کمتر، بیشتر در فرکانس نمونه

برداری یکسان نمونه برداری می شوند و به درستی در داده نمایش داده می شوند.

بعلاوه، فرکانس های کافی باید در حین خوانش اتفاق بیفتند تا نقاط کافی داده به دست آید. این

مساله با پهنای باند دریافت (receive bandwidth) تعیین می شود. پهنای باند دریافت، محدوده

فرکانس هایی است که می خواهیم در حین خوانش، نمونه برداری یا دیجیتایز کنیم. پهنای باند توسط

اعمال یک فیلتر روی گرادیان کد گذاری فرکانس تعیین می شود که با انتخاب فرکانس مرکزی و

تعیین حدود بالا و پایین فرکانس هایی که باید در هر طرف فرکانس مرکزی اکو دیجیتایز شوند،

به دست می آید. در نتیجه، پهنای باند دریافت تعیین کننده تعداد فرکانس های موجود برای دیجیتایز

شدن در حین خوانش می باشد و متناسب با نرخ یا فرکانس نمونه برداری است.

با افزایش پهنای باند دریافت، اختلاف میان بیشترین و کمترین فرکانس هایی که می خواهیم نمونه

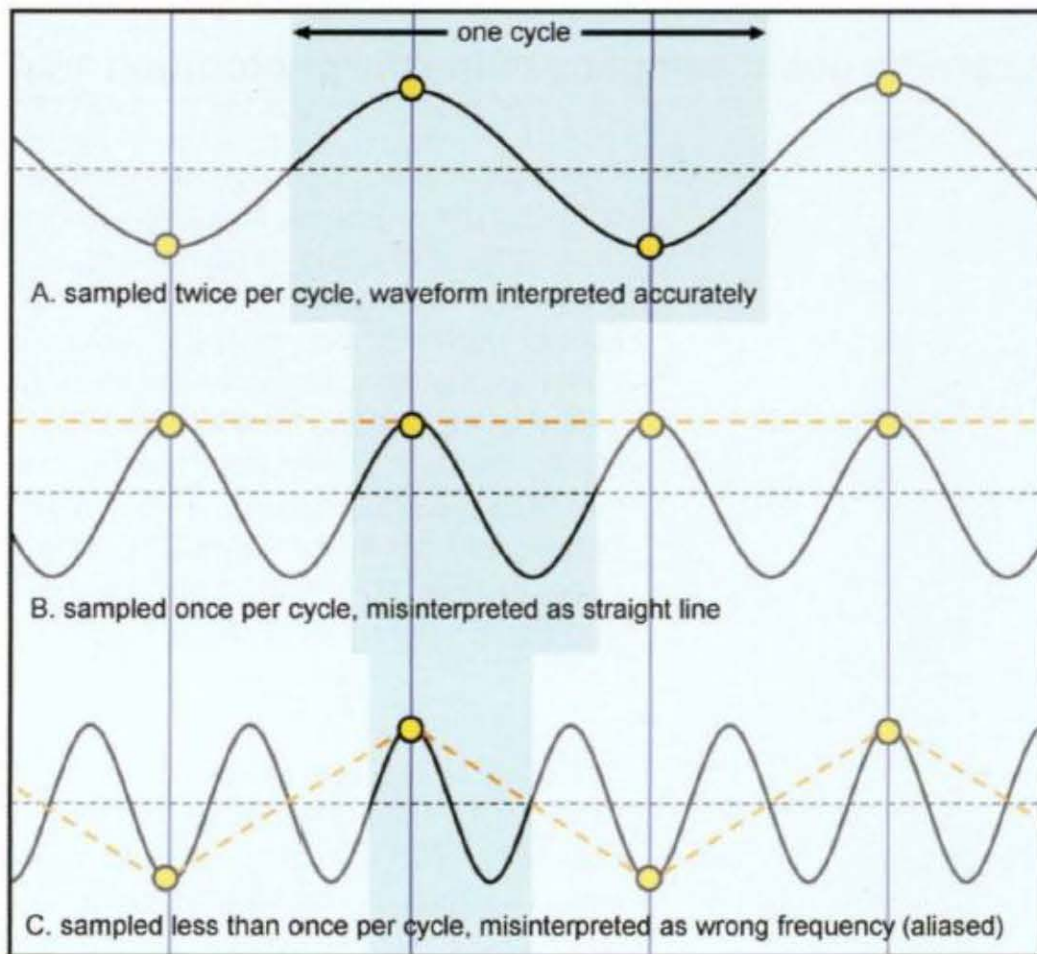
برداری کنیم، زیاد می شود. برای نمونه برداری درست آن ها، فرکانس نمونه برداری نیز باید اضافه

شود. اگر این مساله اتفاق نیفتد، کمترین و بیشترین فرکانس ها در تصویر نمایش داده نمی شوند و

آرتیفکتی به نام "الیاسینگ" اتفاق می افتد. بعلاوه، زمان نمونه برداری بطور عکس متناسب با

فرکانس نمونه برداری و پهنای باند دریافت است. در نتیجه، اگر پهنای باند دریافت کاهش داده

شود، زمان نمونه برداری زیاد می شود. این مفهوم در نکته آموزشی زیر بررسی شده است.



شکل ۳-۱۴- تئوری نایکوئیست

نکته آموزشی: نمونه برداری و پهنای باند دریافت

پهنای باند دریافت، ماتریس فرکانس و حداقل TE که میتوانیم در یک سکانس انتخاب کنیم با یکدیگر مرتبط هستند و اثر زیادی بر اخذ داده دارند. برای درک این مساله بصورت واضح تر، اجازه دهید موارد زیر را با هم مرور کنیم:

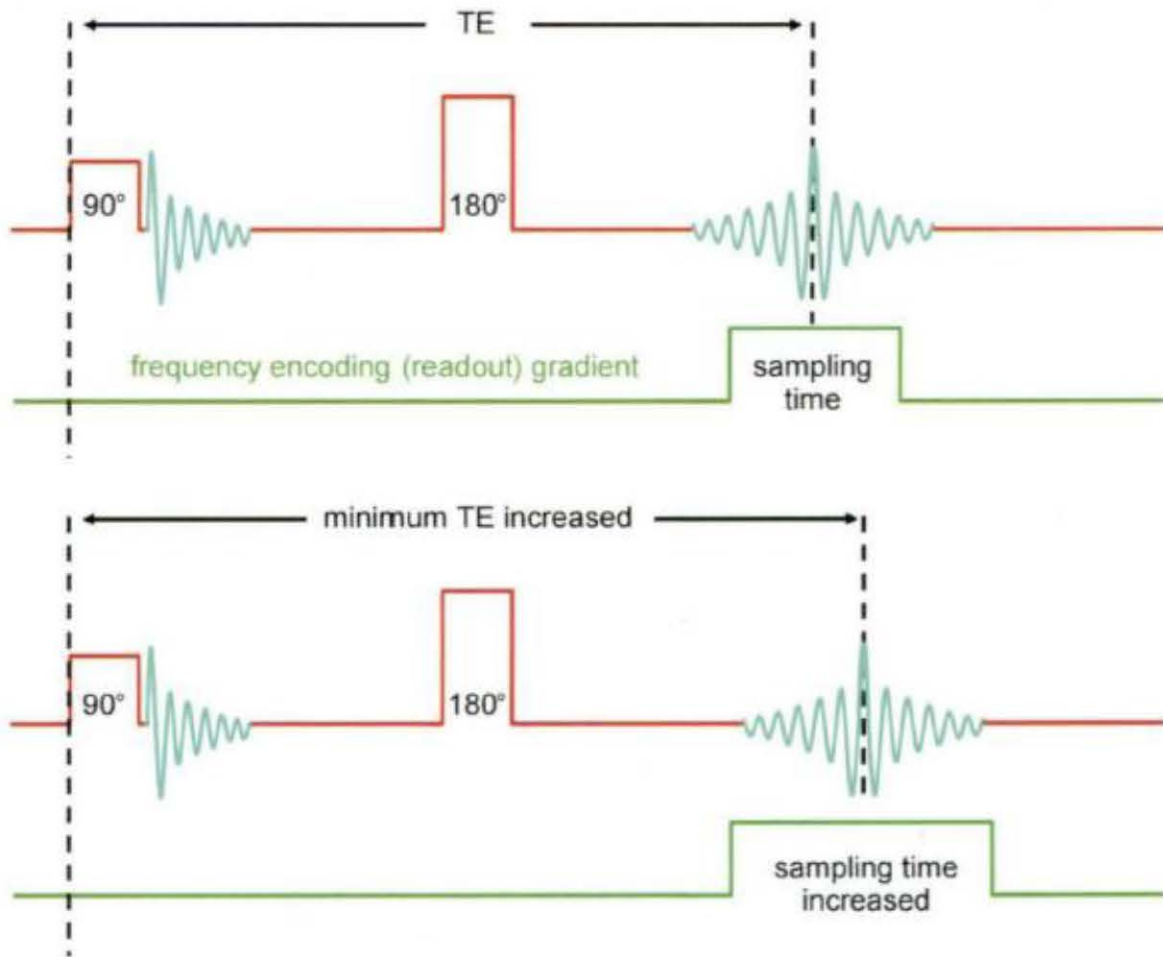
- پهنای باند دریافت، محدوده یا تعداد فرکانس هایی که میخواهیم در حین خوانش دیجیتال کنیم را تعیین می کند.
- ماتریس فرکانسی تعیین کننده تعداد نقاط داده ای است که در حین خوانش جمع آوری می کنیم.
- مینیمم TE توسط زمان نمونه برداری تحت تاثیر قرار می گیرد، زیرا اکو معمولا در میان پنجره خوانش متمرکز شده است؛ یعنی، پیک اکو بر روی میانه بازه گرادیان کدگذاری فرکانس قرار دارد. اگر گرادیان کدگذاری فرکانس برای ۸ میلی ثانیه روشن شود (یعنی زمان نمونه برداری ۸ میلی ثانیه باشد)، پیک اکو پس از ۴ میلی ثانیه اتفاق می افتد. اگر زمان نمونه برداری زیاد شود، گرادیان کدگذاری فرکانس برای مدت طولانی تری روشن می

مانند. در نتیجه، پیک اکو دیرتر اتفاق می افتد و زمان را از پیک اکو تا پالس تحریک RF ای که آن را ساخته است زیاد می شود (یعنی TE اضافه می شود) و عکس این موضوع اگر زمان نمونه برداری کاهش یابد، نیز صدق میکند.

فرض کنید که میخواهیم ۱۰ عکس از دوندۀ دوی مسابقه ۱۰۰ متر بگیریم ولی این بار با دوربینی که تنها هر ۲ ثانیه (بجای ۱ ثانیه) عکس میگیرد. همچنان نیاز به ۱۰ عکس از مسابقه داریم تا نشان دهیم که دوندۀ در حین مسابقه دقیقاً به چه صورت دویده است. یک انتخاب آن است که تصاویر بیشتری در ثانیه بگیریم ولی در بحث MRI، این بدان معنا است که بیشتر فرکانس های نويز را نمونه برداری کنیم که مسلماً نامطلوب است. تنها راههای دستیابی به آن هدف این است که یا مسابقه را دو برابر طولانی تر کنیم (یعنی مسابقه دئ ۲۰۰ متر که ۲۰ ثانیه طول بکشد داشته باشیم) یا از دوندۀ بخواهیم که دو برابر آهسته تر بدود؛ که این گزینه آخر معادل آن است که پهنای باند فرکانسی را کاهش دهیم. همین مساله اگر ۲۰ تصویر به جای ۱۰ تصویر میخواستیم نیز صدق میکرد. با فرض اینکه در هر ثانیه، یک عکس می گیریم، برای رسیدن به این هدف، یا باید طول مسابقه را دو برابر کنیم یا از دوندۀ بخواهیم دو برابر آهسته تر از قبل بدود.

با استفاده از مثال قبلیمان در مورد زمان نمونه برداری ۸ میلی ثانیه و ماتریس فرکانسی ۲۵۶، نیاز است که در فرکانس ۳۲۰۰۰ هرتز (یا هر 0.00003125 s) نمونه برداری کنیم تا ۲۵۶ نقطه داده در طول مدت زمان نمونه برداری به دست آوریم. با توجه به تئوری نایکوئیست، این دو برابر ماکزیمم فرکانس موجود در پهنای باند دریافت است و در نتیجه، مربوط به پهنای باند 16000 Hz می شود. اگر پهنای باند به نصف مقدار قبلی یعنی 8000 Hz کاهش یابد، فرکانس نمونه برداری نیز به 16000 Hz کاهش می یابد. این بدان معنا است که در ۸ میلی ثانیه فقط ۱۲۸ نقطه داده را بجای ۲۵۶ تا می توان جمع آوری کرد. برای جمع آوری نقاط داده لازم در آن پهنای باند، زمان نمونه برداری باید دو برابر شود یعنی به ۱۶ میلی ثانیه برسد و باعث ۸ میلی ثانیه افزایش در حداقل TE مجاز شود. بطور مثال، اگر حداقل TE برابر ۱۰ میلی ثانیه با استفاده از پهنای باند با فرکانس 16000 Hz و ماتریس فرکانسی 256 باشد، با نصف کردن پهنای باند به 8000 Hz، مینیمم TE به ۱۸ میلی ثانیه افزایش می یابد (شکل ۳-۱۵). مواردی وجود دارد که تغییر پهنای باند دریافت مطلوب است یا مواردی پیش می آید که تغییر در TE حاصل، حائز اهمیت است.

به علاوه، افزایش ماتریس فرکانسی اثر مشابهی دارد. مجدداً، با استفاده از مثال بالا، اگر ماتریس فرکانسی به ۵۱۲ افزایش یابد، در نتیجه ۵۱۲ نقطه زمانی لازم اسن و فرکانس ها می بایست ۵۱۲ بار در حین خوانش نمونه برداری شوند. اگر پهنای باند دریافت در 16000 Hz نگه داشته شود، زمان نمونه برداری و در نتیجه مینیمم TE می بایست اضافه شود تا تعداد نقاط زمانی لازم به دست آید. جدول ۳-۳ این مساله را بطور واضح تر نشان می دهد. در خط بالایی مقدار پایه که زمان نمونه برداری 8 ms با پهنای باند 32 KHz هنگام اخذ ماتریس فرکانسی با اندازه ۲۵۶ نوشته شده است. اگر پهنای باند نصف شود، نقاط داده کافی جمع آوری نمی شود (۱۲۸ نقطه بجای ۲۵۶ نقطه نمونه برداری می شود). برای حل این موضوع، زمان نمونه برداری به دو برابر یعنی ۱۶ میلی ثانیه می تواند افزایش یابد که مقدار TE را به اندازه 8 ms افزایش می دهد (چون پیک اکو در میان پنجره اخذ داده قرار می گیرد؛ همانطور که شکل ۳-۱۵ نشان می دهد). همین مساله اگر ماتریس فرکانسی ۵۱۲ مورد نیاز باشد رخ می دهد. زمان نمونه برداری می بایست دو برابر شود تا ۵۱۲ نقطه زمانی اخذ شود که این هم باعث افزایش TE می شود.



شکل ۳-۱۵- زمان نمونه برداری و TE

Table 3.3 Receive bandwidth, sampling time and frequency matrix.

Frequency matrix	Receive bandwidth	Sampling time
256	32 KHz	8 ms
128	16 KHz	8 ms
256	16 KHz	16 ms
512	32 KHz	16 ms

خلاصه:

- فرکانس نمونه برداری متناسب با پهنای باند دریافت است.
- زمان نمونه برداری بطور عکس با فرکانس نمونه برداری و پهنای باند دریافت متناسب است.

MRI in Practice, Chapter 3: By Catherine Westbrook, 2006

مرجع: